

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 40 30 176 A 1

21 Aktenzeichen: P 40 30 176.1  
22 Anmeldetag: 24. 9. 90  
43 Offenlegungstag: 26. 3. 92

51 Int. Cl. 5:  
B 24 B 49/00  
G 05 B 17/02  
B 23 Q 15/22  
B 24 B 17/10  
A 61 C 5/10  
G 01 H 11/08

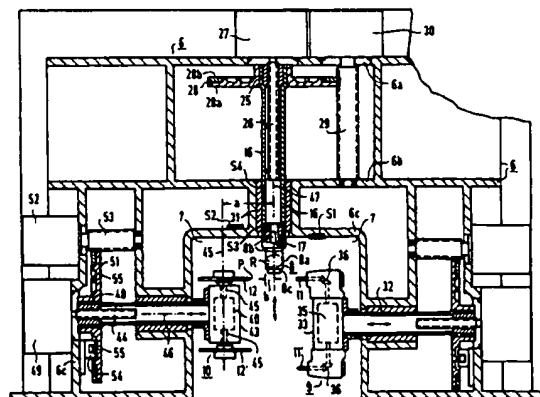
DE 40 30 176 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 8000 München, DE

72 Erfinder:  
Russ, Alexander, Dipl.-Ing. (FH), 6108 Weiterstadt,  
DE

54 Verfahren zum Kalibrieren eines motorisch angetriebenen Werkzeuges in bezug auf ein mit diesem zu bearbeitendes Werkstück sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

57 Zum Kalibrieren von Werkzeug und Werkstück wird das Werkzeug (11, 12) aus einer Ausgangsposition auf eine Referenzfläche (R) des Werkstückes (8a) bzw. Werkstückhalters (8b) bis zu deren Berührung zubewegt. Bei Berührung werden die entstehenden und sich vom normalen Geräuschpegel abhebenden Schallsignale erfaßt und anschließend in elektrische Signale umgewandelt. Diese werden dann zur Ermittlung einer genauen Startposition des Bearbeitungswerkzeuges in bezug auf das Werkstück oder einer Korrekturgröße für den Werkzeugvorschub unter Berücksichtigung der erfaßten Ausgangsposition einer Recheneinheit (60) zugeführt.



DE 40 30 176 A 1

Best Available Copy

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren eines motorisch angetriebenen und mit Hilfe einer Vorschubeinrichtung auf ein zu bearbeitendes Werkstück zu und von diesem weg bewegbaren Werkzeuges in bezug auf das Werkstück bzw. einen das Werkstück aufnehmenden Halter, sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Eine besonders vorteilhafte Anwendung eines solchen Verfahrens und einer nach diesem Verfahren arbeitenden Vorrichtung wird in der Zahnmedizin gesehen, und zwar zur verwendungsfertigen, formgebenden Ausarbeitung eines Zahnrestaurations-Paßkörpers.

Ein solches Verfahren ist beispielsweise in der EP-A-01 82 098 beschrieben. Der Zahnrestaurations-Paßkörper wird dort in einem Arbeitsgang aus einem Rohling aus geeignetem Material, z. B. aus Dentalkeramik, individuell und verwendungsfertig herausgearbeitet. Hierzu ist eine Bearbeitungsmaschine vorgesehen, die in einem Werkzeugträger rotierbar gelagertes Trennscheibenblatt enthält. Zusätzlich kann die Bearbeitungsmaschine noch ein zweites, fingerförmiges Abtragungswerkzeug enthalten, mit dem sich kompliziertere, mit dem Trennscheibenblatt nicht bearbeitbare Formen aus dem Werkstück herausarbeiten sowie die Oberflächen des Paßkörpers besser bearbeiten lassen.

Das Werkstück ist auf einem Halter aufgesetzt, der eng toleriert ist und einerseits eine oder mehrere Anschlagflächen, die eine exakte Positionierung in bezug auf die ihn aufnehmende Spannvorrichtung sicherstellen und andererseits eine oder mehrere Referenzflächen, die eine Justierung der Position des Trennscheibenblattes bezüglich der Werkstückachse ermöglichen, enthält.

Zur Erzeugung der gewünschten Form des Paßkörpers sind Werkzeugträger und Werkstückhalter verteilbar angeordnet, wobei individuell ansteuerbare Verstellmotoren für den Werkzeugvorschub und die Werkzeughalterung vorhanden sind.

Der Paßkörper wird anhand vorgegebener Konstruktionsdaten, die aus dem zuvor präparierten Zahn mit Hilfe einer Vermessungs-Kamera und eines Computers mit entsprechender Software erstellt werden, aus dem Werkstückrohling herausgearbeitet.

Um eine Vororientierung über die Position des Werkzeuges in bezug auf das Werkstück zu erhalten und damit dem Vorschubsystem einen Anfangs- und Bezugspunkt zu geben, enthält die bekannte Vorrichtung im Bereich des Vorschubsystems für das Werkzeug eine Gabellichtschranke, mit der die Ausgangsposition des Werkzeuges grob definiert werden kann.

Um insbesondere Abnützungen der Arbeitsflächen der Schleifwerkzeuge berücksichtigen zu können, kann vor Beginn einer Bearbeitung eine Kalibrierung der Werkzeuge bezüglich der Achsen des Werkstückhalters vorgenommen werden. Hierzu enthält die bekannte Vorrichtung eine berührungslos arbeitende Drehzahlmeßeinrichtung mit einem Permanentmagneten und einem induktiven Aufnehmer. Die Frequenzsignale des Aufnehmers gehen über einen Impulsformer in einen Zähler. In einer logischen Einheit, welche, wie der Zähler, einem Rechner angehört, wird eine Diskrimination auf bestimmte, eingestellte Frequenzwerte, entsprechend der Drehzahl des Werkzeuges, durchgeführt. Unterschreitet die Frequenz einen bestimmten Wert, werden Steuersignale ausgelöst.

Die Kalibrierung erfolgt dadurch, daß das Werkzeug

zunächst mit der normalen Leerlaufdrehzahl auf die eng tolerierte Referenzfläche des Werkstückhalters auffährt. Durch dieses Touchieren wird der Antrieb des Werkzeuges auf einen niedrigeren Drehzahlwert abgebremst. Anhand der Abbremskurve, die nach der oben geschilderten Frequenzwertanalyse ermittelt wird, kann auf den Berührungspunkt zurückgerechnet bzw. dieser rechnerisch ermittelt werden.

In einem zweiten Versuch wird danach die Referenzstelle des inzwischen um 90° gedrehten Werkstückes nochmals angefahren und dabei ein höherer Drehzahlwert diskriminiert. Dieser Vorgang entspricht einer kleineren Abbremsung als beim ersten Versuch.

Anhand der mittels der Abbremskurven ermittelten Positionen und der über die Gabellichtschranke erfaßten Ausgangsposition wird der Startpunkt für den Beginn der Bearbeitung bzw. ein in die Maschinensteuerung der Vorschubeinrichtung eingehender Korrekturwert ermittelt. Nach der Kalibrierung kann die Bearbeitung des Rohlings in der hier nicht näher zu erläuternden Weise beginnen.

Obleich mit dem bekannten Verfahren und der danach arbeitenden Vorrichtung eine Kalibrierung des Werkzeuges an sich gut möglich ist, ist dieses Verfahren jedoch mit einigen spezifischen Nachteilen behaftet. So wird die Abbremskurve, an der sich die Messung orientiert, durch mehrere Parameter beeinflusst:

- Drehzahl bzw. Geschwindigkeit der Trennscheibe
- Form der Trennscheibe
- Zustand des Kühl- und Schmiermittels
- Art des Materials, an dem "touchiert" wird
- Wirkungsgrad des gesamten Antriebssystems

Durch diese, die Meßgenauigkeit beeinflussenden Parameter sind hinsichtlich der erzielbaren Genauigkeit in der Bestimmung der Startposition des Werkzeuges bestimmte Grenzen gesetzt.

Der im Anspruch 1 angegebenen Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, demgegenüber ein verbessertes Verfahren und eine danach arbeitende Vorrichtung anzugeben, insbesondere mit dem Ziel, eine Kalibrierung von Werkzeug und Werkstück noch genauer vornehmen zu können, und damit die Startposition des Werkzeuges bzw. eine Korrekturgröße für den Werkzeugvorschub noch genauer festlegen zu können.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen. Anhand der Zeichnung wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein zahnärztliches Gerät mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer schaubildlichen Darstellung,

Fig. 2 einen Teil der Vorrichtung nach Fig. 1 von oben gesehen im Schnitt,

Fig. 3 ein Prinzipschaltbild für die Ansteuerung der Antriebe.

Die Fig. 1 zeigt in einer schaubildlichen Darstellung die Gesamtanordnung eines nach der Erfindung arbeitenden Gerätes in einer Ausführungsform zur Herstellung eines Zahnrestaurations-Paßkörpers, z. B. einer Zahnkrone. Der zu erstellende Paßkörper kann mit Hilfe eines optischen Abdruckverfahrens unter Zuhilfenahme eines Computers an einem Bildschirm konstruiert und anschließend in einer Bearbeitungsmaschine aus einem geeigneten Werkstück, z. B. aus Dentalkeramik, hergestellt werden. Die einzelnen Komponenten dieses

Gerätes sind eine optische Kamera 1, ein Bildschirm 2, eine Tastatur 3, eine Zeichenkugel 4 (Trackball), eine allgemein mit 5 bezeichnete Bearbeitungsmaschine sowie im Gehäuse 6 enthaltene, nicht näher dargestellte weitere mechanische, elektrische und elektronische Komponenten, die mit den vorgenannten Komponenten zusammenarbeiten, um den Paßkörper erstellen zu können. Der prinzipielle Aufbau und die Wirkungsweise eines solchen Gerätes sind in der eingangs genannten europäischen Patentschrift beschrieben.

Das Gehäuse 6 bildet eine Bearbeitungskammer 7, in die einige, später noch näher erläuterte Komponenten der Bearbeitungsmaschine ragen. Diese sind im wesentlichen eine Aufnahme- und Haltevorrichtung für ein Werkstück 8, aus dem der zu erstellende Paßkörper gefertigt wird sowie zwei einander gegenüberliegende Spindelanordnungen 9 und 10, welche je zwei Werkzeuge (in Fig. 2 mit 11, 11' und 12, 12' bezeichnet) zur Bearbeitung des Werkstückes 8 tragen. Die Bearbeitungskammer 7 kann mittels eines vorzugsweise durchsichtigen Deckels 13 während der Bearbeitung geschlossen werden. Das Gehäuse 6 enthält unterhalb der Bearbeitungsmaschine 5 einen als Schublade ausgebildeten Wassertank 14 sowie eine Kammer 15, in der ein Behälter zur Aufnahme eines Pflegemittels gehalten ist.

Anhand der Fig. 2 wird die Bearbeitungsmaschine 5 näher erläutert. Die Fig. 2 zeigt dabei die Bearbeitungsmaschine im Bereich der Spindelanordnungen 9, 10, geschnitten in einer Draufsicht. Zunächst wird die Halterung und Lagerung des Werkstückes 8, aus dem der Paßkörper erstellt werden soll, näher beschrieben. Das Werkstück 8 besteht aus einem Keramikblock 8a, der an einem metallischen zapfenförmigen Halter 8b durch Kleben oder dergleichen befestigt ist. Das Werkstück ist am Ende einer als Hohlwelle ausgebildeten Spindel 16 eingesteckt und wird mittels einer mit 17 bezeichneten Spannvorrichtung dreh- und zugfest gehalten.

Die als Hohlwelle ausgebildete Spindel 16 weist an ihrem dem Werkstück 8 abgewandten Ende eine Spindelmutter 25 auf, die mit einer Gewindespindel 26 zusammenwirkt, die direkt mit einem am Gehäuse 6 befestigten Antriebsmotor 27 gekuppelt ist.

Mit der Spindel 16 drehfest verbunden ist ein Zahnrad 28, welches mit einer Zahnwelle 29 in Eingriff steht, die zwischen zwei Wandungen 6a, 6b des Gehäuses 6 gelagert und ebenfalls direkt mit einem zweiten Antriebsmotor 30 gekuppelt ist. Die Achsen von Zahnwelle 29 und Spindel 16 verlaufen parallel. Der Antriebsmotor 30 mit der Zahnwelle 29 dient dazu, die Spindel 16 in eine Drehbewegung zu versetzen, während der Antriebsmotor 27 mit der Gewindespindel 26 für einen Längsvorschub der Spindel 16 sorgt. Zu diesem Zweck ist das dem Werkstück zugewandte Lager 31 als Längs- und Drehlager ausgebildet. Das Zahnrad 28 ist als spielfreies Doppelzahnrad ausgebildet; es besteht aus zwei gleichachsigen nebeneinander angeordneten Zahnradhälften 28a, 28b, die durch ein (nicht dargestelltes) Federelement gegeneinander abgestützt sind, wodurch unabhängig von der Drehrichtung des Antriebs jeweils eine Zahnflanke von der einen oder anderen Zahnradhälfte mit der Zahnwelle 29 in Eingriff steht. Ein solches spielfreies Doppelzahnrad bildet einerseits ein geräuscharmes Präzisionsgetriebe, andererseits dient es der sicheren und exakten Bewegungsübertragung bei einem Längsvorschub der Spindel. Die Eingriffsverbindung Spindelmutter 25, Gewindespindel 26 und Hohlwelle 16 fordert in Axialrichtung nur geringen Raumbedarf. Der Antriebsmotor 27 bildet gleichzeitig ein Festlager für

die Einheit und ist direkt, also ohne Kupplung, mit der Gewindespindel 26 verbunden. Gewindemutter 25 und Gewindespindel 26 können als spielfreier Kugelgewindetrieb oder auch als spielfreier Gleitgewindetrieb aufgebaut sein. Bei einem Gleitgewindetrieb kann eine spielfreie Mutter mit der Hohlwelle kombiniert werden.

Nachfolgend wird der Aufbau der Spindelanordnungen 9 und 10 näher erläutert.

Die Spindelanordnung 9 enthält eine als Hohlwelle ausgebildete Spindel 32, deren eines Ende in die Bearbeitungskammer 7 ragt und dort einen Werkzeugträgerkopf 33 trägt. In einem fest mit der Spindel 32 verbundenen Gehäuse ist mittig ein Elektromotor 35 angeordnet, dessen Drehbewegung über eine Kegelverzahnung 36 auf die beidseitig vorhandenen Werkzeugantriebswellen um 90° umgelenkt werden. Die Achsen dieser Triebwellen verlaufen also parallel zur Spindelachse der Spindel 32. Am freien Ende der Triebwellen sind mittels geeigneter Spannvorrichtungen die Bearbeitungswerkzeuge 11, 11' gehalten.

Der gegenüberliegend angeordnete Werkzeugträgerkopf 43 für die Spindelanordnung 10 ist ähnlich aufgebaut; er enthält jedoch keine Kegelradverzahnung. Ein im Werkzeugträgerkopf 43 angeordneter Motor 40 treibt hier die Werkzeugantriebswellen direkt an. Die Werkzeugachsen 45 verlaufen demnach parallel zur Achse 47 der Werkstückvorschubspindel 26. Der Werkzeugträgerkopf 43 ist im Gegensatz zum Werkzeugträgerkopf 33, der fingerförmige Werkzeuge trägt, mit scheiben- oder topfförmigen Werkzeugen 12, 12' belegt. Vorzugsweise ist die eine Seite mit einer scheibenförmigen Schleif- bzw. Fräzscheibe (12) und die andere mit einer topfförmigen Polierscheibe (12') versehen, die aus mit Diamanten besetztem Weichstoff bestehen kann oder auch als austauschbare Bürste ausgebildet sein kann. Dadurch, daß der Werkzeugträgerkopf 43 um die Spindelachse 46 um 180° gedreht werden kann, kann ein Schleifen und anschließendes Polieren des Paßkörpers praktisch ohne Arbeitsunterbrechung durchgeführt werden.

Die beiden Spindelanordnungen 9 und 10 weisen bezüglich ihrer Schwenk- und Vorschubbewegung gleiche Antriebs- und Antriebsübertragungselemente auf, die im folgenden für die Spindelanordnung 10 erläutert werden.

An der als Hohlwelle ausgebildeten Spindel 46 ist eine Spindelmutter 48 befestigt, die mit der von einem Motor 49 angetriebenen Gewindespindel 44 in Eingriff steht. Mit diesen Abtriebsselementen kann die Spindel 46 in Achsrichtung verstellt werden.

Mit der Spindel 46 drehfest verbunden ist wiederum ein Doppelzahnrad 51, welches ähnlich aufgebaut ist wie das mit 28 bezeichnete. Dieses Doppelzahnrad 51 kämmt mit einer von einem weiteren Antriebsmotor 52 angetriebenen Zahnwelle 53. Mit diesem Antriebselement kann der gesamte Werkzeugträgerkopf 43 um die Spindelachse um wenigstens 90°, vorzugsweise jedoch um 180°, geschwenkt werden. Ein Schwenken um 90° ist angezeigt, um den Werkzeugträgerkopf aus der in Fig. 2 gezeigten Arbeitsstellung in eine Grund- oder Ruheposition zu schwenken, in der der Zugang zu dem Werkstück 8 erleichtert ist.

Nachdem der Vorschub der einzelnen Spindeln sehr präzise erfolgen muß, ist es notwendig, die hierzu vorgesehenen Antriebsmotoren genau anzusteuern. Es werden deshalb Schrittmotoren verwendet, die an sich in sehr kleinen Schritteinheiten angesteuert werden. Um dennoch Schrittverluste ausgleichen zu können, wird

vorgeschlagen, die Schrittmotoren mit einer Rückmeldung zu versehen. Diese kann darin bestehen, daß in Nähe der Vorschubspindel, oder mit dieser gekoppelt, auf Widerstands-, Kapazitäts-, Induktivitäts-, Ultraschall-, Magnet- und/oder optischer Basis aufbauende Sensormittel vorgesehen sind, die über einen nicht dargestellten Rechner mit dem zugehörigen Schrittmotor elektrisch verbunden sind. Durch ein solches Wegmeßsystem, welches sowohl analog als auch inkremental arbeiten kann, ist es möglich, die Genauigkeit der Schleifmaschine zu erhöhen.

An einer Gehäusewand 6c ist eine Gabellichtschranke 54 angeordnet, die mit einem durch einen Schlitz unterbrochenen Ring 55 des Doppelzahnades 51 so zusammenwirkt, daß die Ruhe- oder Ausgangsstellung der Spindel genau erfaßt werden kann, und zwar sowohl in bezug auf ihre Dreh-(Winkel-)Stellung als auch in bezug auf ihre Position in Richtung der Vorschubachse. Während letztere durch Eintauchen des Ringes 55 in die Gabellichtschranke erfaßt wird, wird die Winkelstellung durch ein Signal beim Durchfahren des den Ring 55 unterbrechenden Schlitzes durch die Lichtschranke erfaßt. Mit Hilfe der Gabellichtschranke kann somit der Abstand a der Werkzeugachse 45 zur Werkstückachse bzw. Werkstückhalterungsachse 47 festgelegt werden.

Um den Paßkörper, im vorliegenden Anwendungsfall eine im Werkstück 8 in Fig. 2 gestrichelt eingezeichnete Zahnkrone, anhand vorgegebener Konstruktionsdaten, die aus dem präparierten Zahnstumpf mit Hilfe der eingangs erwähnten Kamera, eines Computers mit Software, erstellt werden, aus dem Werkstück 8 paßgerecht herausarbeiten zu können, ist es notwendig, Werkzeug und Werkstück bzw. Werkstückhalter zu kalibrieren bzw. für die Bearbeitungswerkzeuge 11, 12 eine genau definierte Startposition zu ermitteln, von der aus die Werkstückbearbeitung entsprechend den vorgegebenen Konstruktionsdaten beginnen kann. Dabei gilt es, Abnutzungen und/oder Fertigungstoleranzen der Werkzeuge und gegebenenfalls Abweichungen der Werkstücke von vorgegebenen Sollwerten, sowie sonstige, durch Alterungen an den Bauteilen auftretende Abweichungen auszugleichen.

Zur Kalibrierung bzw. Festlegung der Startposition werden konstruktionsbedingte feste Größen berücksichtigt, z. B. der vorgenannte Abstand (a) der Achsen 45, 47 von Werkzeug zu Werkstück bzw. Spannvorrichtung in der durch die Gabellichtschranke 54/55 erfaßten Ausgangsposition, der Abstand (b) zwischen der Achse 47 des Werkstückes bzw. des Halters und der Touchierfläche (Referenzfläche R), und der Schleifscheibendurchmesser als vorgegebene Sollgröße. Diese bekannten festen Größen werden in einem Speicher eines nachfolgend noch näher erläuterten Rechners abgelegt.

Unter Berücksichtigung dieser festen Größen werden die aus den obengenannten Gründen auftretenden Abweichungen von den Sollgrößen ermittelt, indem das Bearbeitungswerkzeug von der durch die Gabellichtschranke festgelegten Ausgangsposition bis zur Berührung mit der Referenzfläche am Werkstück oder deren Halterung gefahren wird und die diesem Istwert entsprechende Größe in den Rechner eingebracht und mit den vorgegebenen Sollgrößen verarbeitet wird. Die hieraus ermittelten Abweichungen können als Korrekturgröße in die Maschinensteuerung, also in das Steuerprogramm für den Werkzeugvorschub, eingebracht werden, wobei es möglich ist, entweder die Ausgangsposition als Startposition zu belassen und die Korrektur in die vorgegebenen Konstruktionsdaten zur Erstellung

des Paßkörpers einzuarbeiten, also die Konstruktionsdaten zu verändern, oder diese unverändert zu lassen und dafür die Ausgangsposition des Werkzeuges, also deren Startposition, um die Korrekturgröße zu verändern.

Der Istwert wird gemäß der Erfindung festgestellt, indem die Bearbeitungswerkzeuge 11 oder 12 mit Hilfe der Vorschubeinrichtungen auf die in Fig. 2 mit R bezeichnete Referenzfläche des Werkstückes 8a oder des Werkstückhalters 8b so lange zu bewegt werden, bis eine Berührung (touch) erfolgt. Beim Berühren werden die sprunghaft auftretenden Körperschallimpulse, die deutlich über dem normalen Maschinenlaufgeräusch liegen, von einem in unmittelbarer Nähe angeordneten Sensor (S1 bis S4) erfaßt und als Spannungsimpulse an die Maschinensteuerung weitergemeldet. Nachdem der Körperschallsensor möglichst nahe der Berührungsstelle angeordnet sein soll, kann er mit Vorteil auf der Vorderoder Rückseite des die Bearbeitungskammer 7 bildenden Gehäuses 6c befestigt (S1, S2) oder in der Spannvorrichtung 17 oder in der Hohlwelle 16 integriert angeordnet sein (S3, S4). Als Sensor kann im einfachsten Fall ein Piezoaufnehmer verwendet werden. Dieser kann mit Vorteil bereits mit integriertem Verstärker und Impulsformer versehen sein. Denkbar und im Rahmen der Erfindung liegt es auch, auf magnetischer oder kapazitiver Basis arbeitende Sensoren zu verwenden. Wegen des relativ kleinen zur Verfügung stehenden Einbauvolumens eignen sich Elektret-Mikrofone mit integrierten Vorverstärkern besonders gut.

Das Touchieren kann entweder wie bisher üblich auf einer Referenzfläche eines eng tolerierten Werkstückhalters erfolgen oder auch auf einer auf der Hohlwelle oder der Spannvorrichtung angebrachten Referenzfläche, z. B. in Form eines Referenzzylinders. Besonders vorteilhaft ist es, am Werkstück selbst eine Referenzfläche vorzusehen, an der touchiert werden kann, z. B. in Form eines maßgenau geschliffenen Rundkörpers (8c) am freien Ende des Werkstückes 8.

Bevor das Kalibrieren bzw. das Festlegen der genauen Startposition weiter erläutert wird, werden anhand der die Prinzipschaltung in Fig. 3 Antrieb und Steuerung der Antriebsund Verstellmotoren für die Werkzeuge 12, 12' und das Werkstück 8 beschrieben. Analog erfolgt die Steuerung für den Antriebsmotor 35 des Werkzeuges 11 sowie für den nicht näher bezeichneten Verstellmotor der Vorschubeinrichtung für die Werkzeuge 11, 11'.

Eine mit 60 bezeichnete Recheneinheit enthält ein Drehzahlvorgabestellglied 61, mit dem der Antriebsmotor 40 eine an sich frei wählbare Anfahrddrehzahl eingestellt werden kann. Die Recheneinheit 60 enthält weiterhin zwei Impulsgeneratoren 62, 63, mit denen einerseits der Schrittmotor 49 für den Vorschub der Werkzeuge 12, 12' und andererseits der Schrittmotor 27 für den Vorschub des Werkstückes 8 angesteuert werden. Ein Speicher in Form eines Zählers 64 dient dazu, um die aus der Gabellichtschranke 54, 55 mit Beginn der Vorschubbewegung bis zur Berührung des Werkstückes 8 durch die Schleifscheibe 12 erhaltenen Signale ab speichern zu können. Ein Komparator 65 enthält aus dem vorgesehenen Körperschall-Sensor (S1 bis S4) ein entsprechend aufbereitetes, einem Istwert entsprechendes Signal, welches mit einem Vergleichssignal als Sollwert zur Ansteuerung des Impulsgenerators 62 herangezogen wird. Zweckmäßigerweise ist einer digitalen Signalauswertung der Vorzug zu geben. Sind die beiden eingehenden Signale am Komparator verschieden, liefert der nachge-

schaltete Impulsgenerator 62 einen Impuls an den Zähler 64 und an den Schrittmotor 49. Damit wird zum einen das Werkzeug um einen definierten Weg in Richtung auf das Werkstück 8 zubewegt, zum anderen wird der zurückgelegte Weg im Zähler 64 zwischengespeichert. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis der Berührungspunkt erreicht ist und sodann die Signale am Komparator übereinstimmen. Der Komparator 65 schaltet dann den Impulsgenerator 62 ab. Der Zähler 64 übergibt den aktuellen Zählerstand einem Rechenwerk 66, wo er abgespeichert wird. Der abgespeicherte Wert ist ein Maß für den tatsächlich zurückgelegten Weg der Werkzeugspitze bzw. Arbeitsfläche (in Fig. 2 mit P bezeichnet), von der Ausgangsposition bis zur Referenzfläche (in Fig. 2 mit R bezeichnet). An einem Vergleich mit den bereits genannten festen Größen, die im Rechenwerk 66 abgespeichert sind, kann eine Korrekturgröße ermittelt und hieraus die Startposition für eine Bearbeitung entsprechend vorgegebener, in einem Speicher 68 einer Steuereinheit 67 abgelegter Konstruktionsdaten errechnet werden, wobei bei Abweichungen anschließend entweder die Vorgabedaten für die Vorschubeinrichtung oder die Ausgangsposition der Vorschubeinrichtung entsprechend geändert werden. Mit diesen Steuerdaten werden sodann die Stellmotoren 49, 27 und 30 sowie die Antriebsmotoren 40 und 35 aus der Steuereinheit 67 angesteuert, wobei die Steuereinheit 67 auch integraler Bestandteil der Recheneinheit 60 sein kann.

Vorteilhaft kann es sein, wenn der Schrittmotor 30 aus dem Impulsgenerator 63 eine Impulsfolge erhält, die bewirkt, daß das Werkstück nach dem ersten Touch um 180° gedreht wird und nach der Drehung derselbe Vorgang erneut durchgeführt wird. Dem Rechenwerk 66 liegen danach zwei Werte über zurückgelegte Wege vor, aus denen die Dicke (Durchmesser) des Werkstückes (2d) in Bearbeitungsebene bzw. der Durchmesser der Schleifscheibe 12 errechnet werden kann.

Nach dem gleichen Prinzip kann auch der Durchmesser bzw. die Ausgangsposition des Fingerfräasers 11 in der gegenüberliegenden Schleifeinheit ermittelt werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines motorisch angetriebenen und mit Hilfe einer Vorschubeinrichtung auf ein zu bearbeitendes Werkstück zu und von diesem weg bewegbaren Werkzeuges in bezug auf das Werkstück bzw. ein das Werkstück aufnehmenden Halter, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug (11, 12) aus einer Ausgangsposition auf eine Referenzfläche (R) des Werkstückes (8a) bzw. Werkstückhalters (8b) bis zu deren Berührung zubewegt wird, wobei die bei Berührung entstehenden und sich vom normalen Geräuschpegel abhebenden Schallsignale erfaßt und anschließend in elektrische Signale umgewandelt werden, die dann einer Recheneinheit (60) zur Ermittlung einer genauen Startposition des Bearbeitungswerkzeuges in bezug auf das Werkstück oder einer Korrekturgröße für den Werkzeugvorschub unter Berücksichtigung der erfaßten Ausgangsposition zugeführt werden.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, enthaltend eine Spannvorrichtung (17) zur Aufnahme des Werkstückes (8a), mindestens eine Vorschubeinrichtung (32, 46) für min-

destens ein in Rotation versetzbares Bearbeitungswerkzeug (11, 12), wobei die Vorschubeinrichtung so ausgebildet und angeordnet ist, daß das Werkzeug (11, 12) im Sinne einer Materialabtragung am Werkstück (8a) auf dieses zu und von diesem weg bewegbar ist, enthaltend mindestens eine, am Werkstück (8a) oder an deren Halterung (8b) angeordnete Referenzfläche (R), gegen die das Bearbeitungswerkzeug (11, 12) fahrbar ist, enthaltend ferner Mittel (54, 55) zur Erfassung einer Ausgangsposition des Bearbeitungswerkzeuges und der Wegstrecke, die das Bearbeitungswerkzeug von der Ausgangsposition bis zumindest zur Berührung der Referenzfläche (R) zurücklegt, sowie wenigstens einem in Nähe der Referenzfläche (R) angeordneten Körperschall-Sensor (S1 bis S4), der die bei einer Berührung der Referenzfläche durch das Bearbeitungswerkzeug (11, 12) entstehenden, sich vom normalen Geräuschpegel abhebenden Schallsignale erfaßt, weiterverarbeitet und als elektrische Signale einer Recheneinheit (60) zuführt, in der die Signale zur Festlegung der genauen Startposition des Bearbeitungswerkzeuges (11, 12) in bezug auf das Werkstück (8a) oder der Korrekturgröße für den Werkzeugvorschub weiterverarbeitet werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß sie zur Bearbeitung eines Werkstückes (8a) zum Zwecke der Herstellung eines Zahnrestaurations-Paßkörpers vorgesehen ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Körperschall-Sensor (S3) in oder an der Spannvorrichtung (17) für das Werkstück (8a) angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Körperschall-Sensor (S1, S2) am Gehäuse (6c) in unmittelbarer Nähe der Spannvorrichtung (17) befestigt ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Körperschall-Sensor (S4) in der Hohlwelle (16) der Vorschubeinrichtung für das Werkstück (8a) angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Körperschall-Sensor (S1 bis S4) ein Piezo-Aufnehmer vorgesehen ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein Körperschall-Impuls-Sensor (S1 bis S4) mit integrierter Auswertelektronik vorgesehen ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

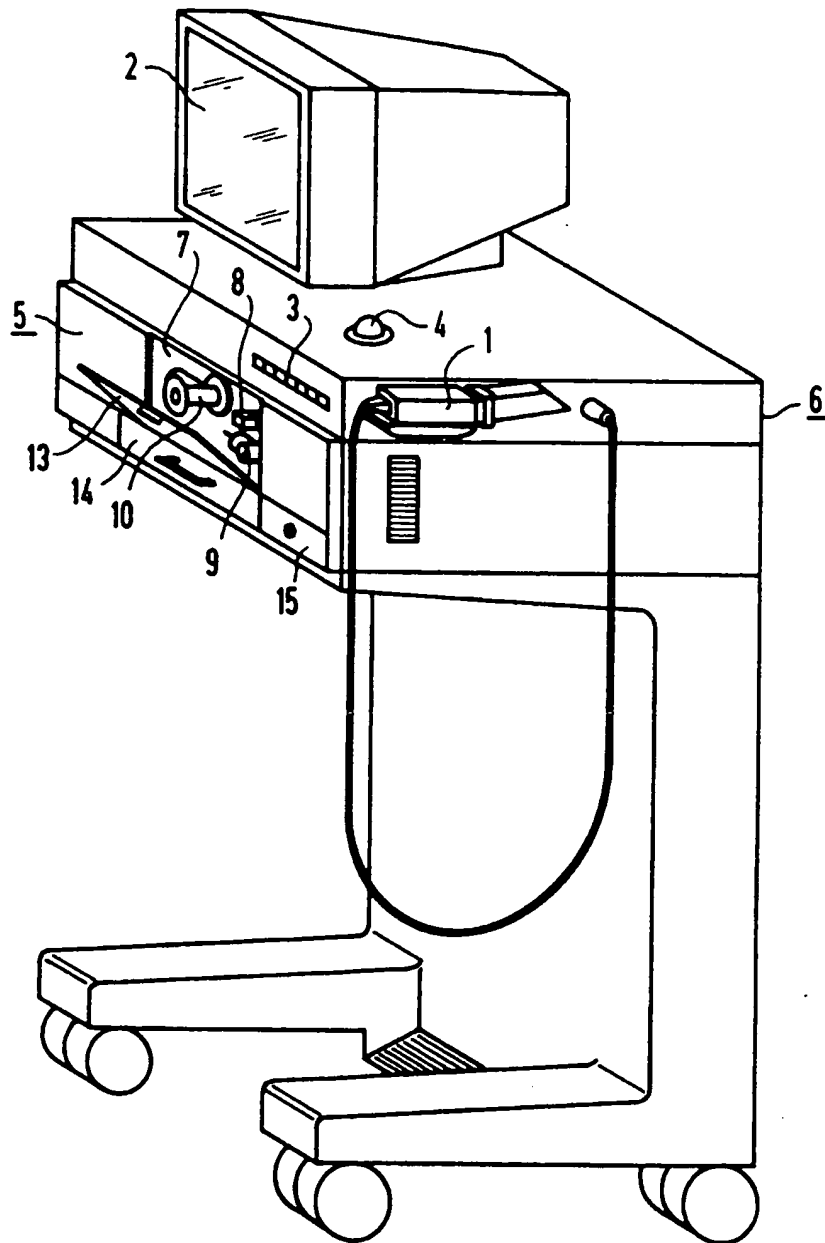
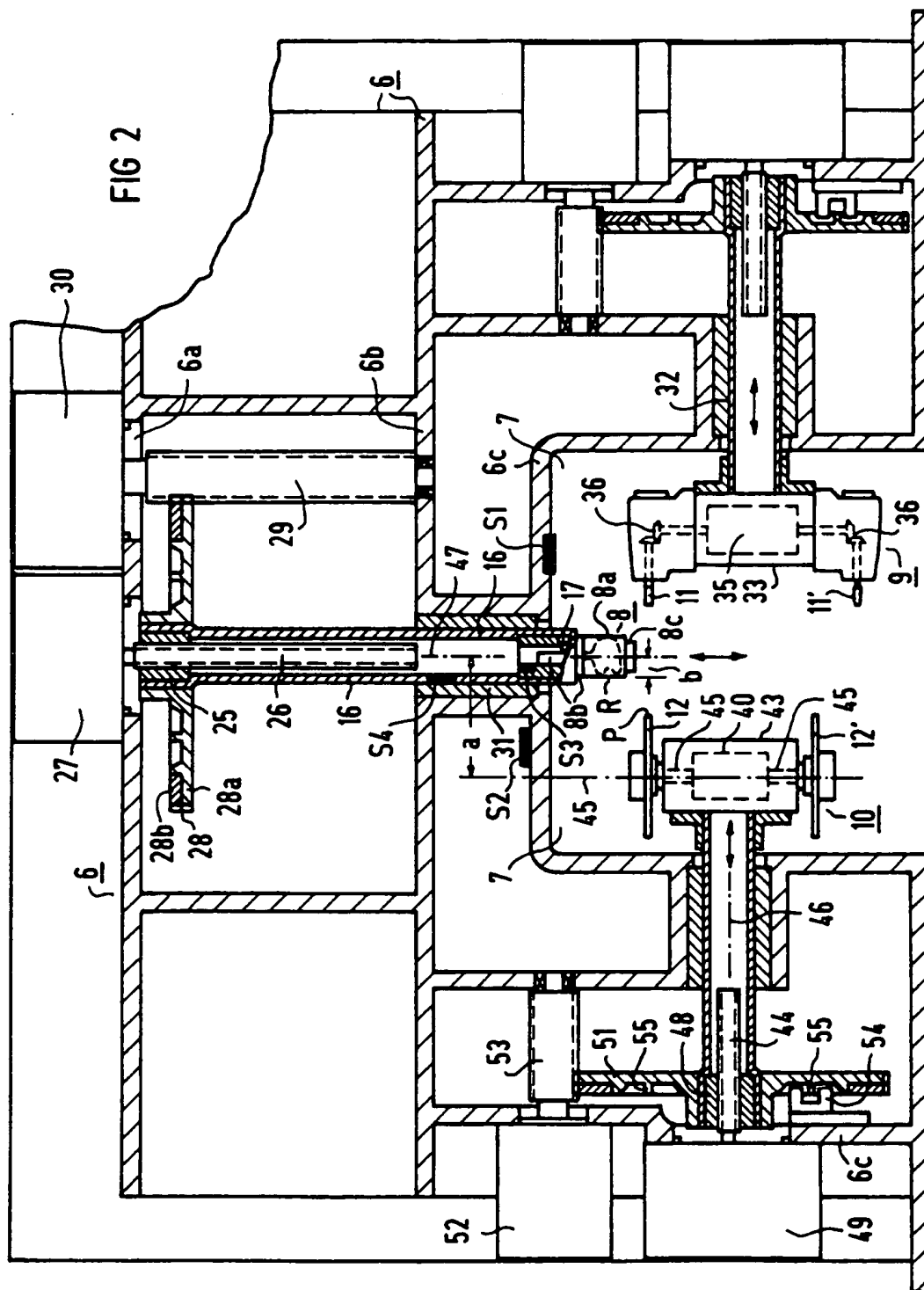


FIG 1



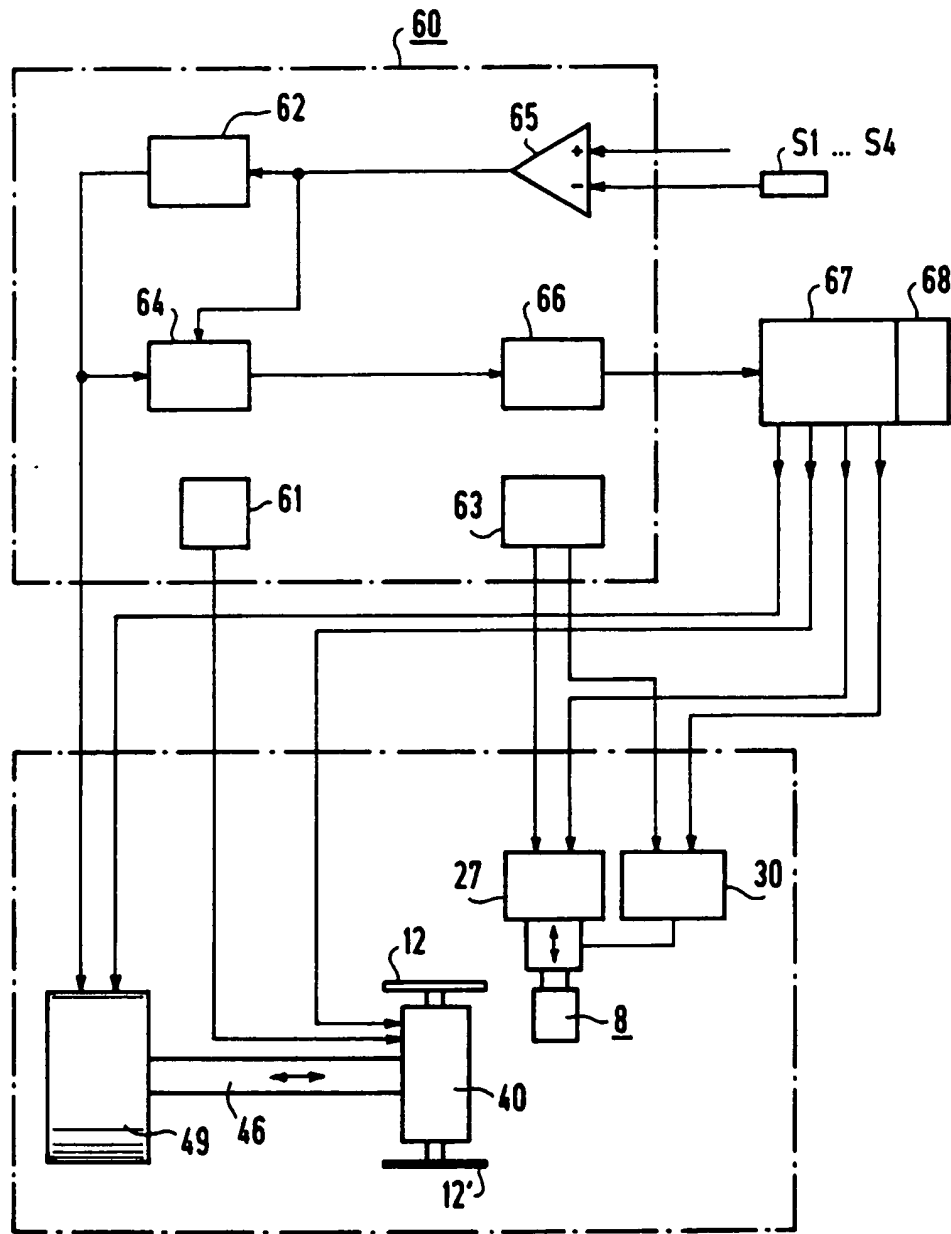


FIG 3